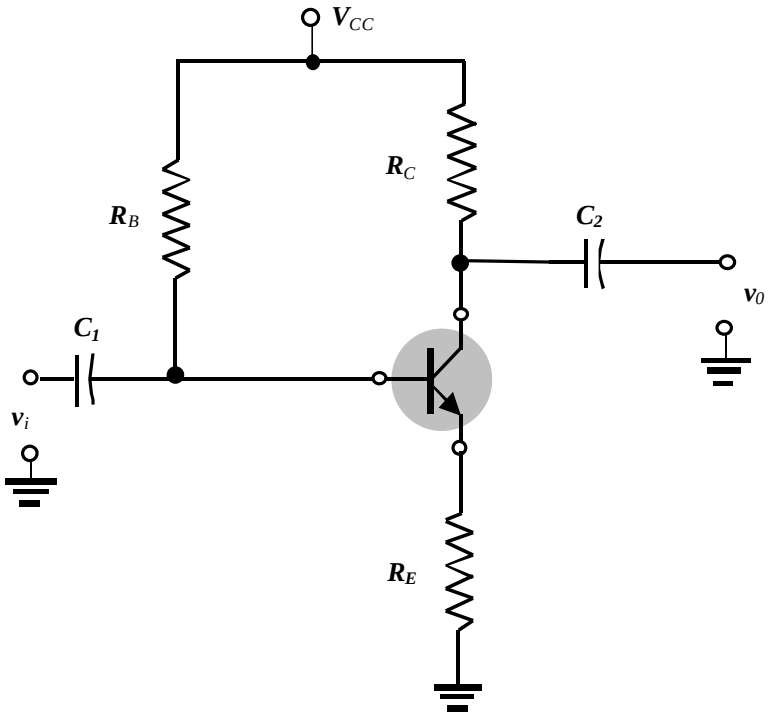
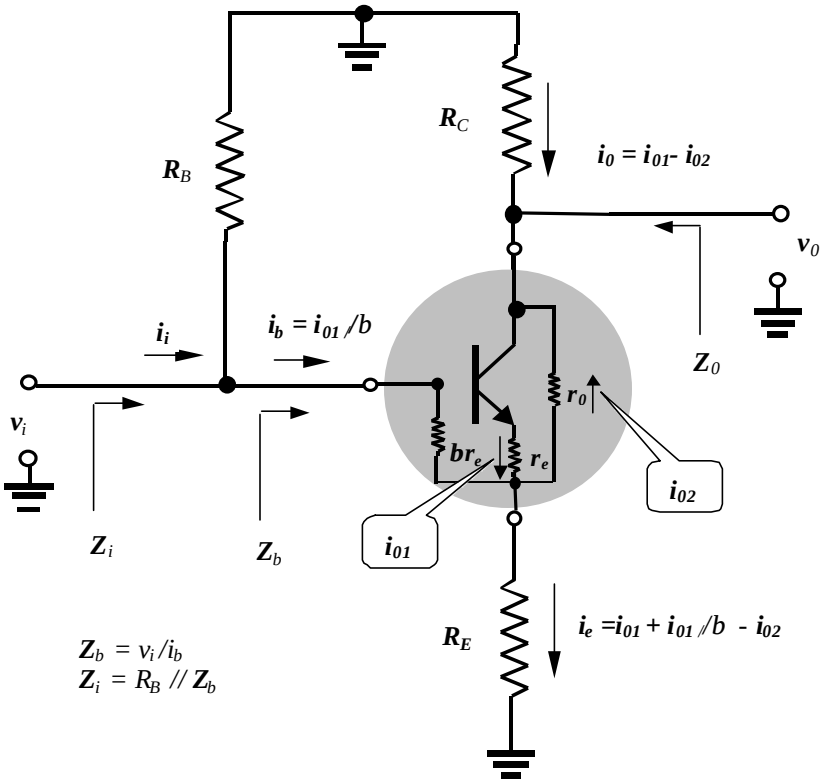
- **Configuração Emissor Comum com resistor no emissor**

Com Resistor de emissor não desacoplado (não desviado)



Na Banda de interesse, XC_1 e XC_2 estão em curto e para análise incremental (AC) toda fonte de tensão constante está em curto com o terminal comum.



Determinação dos parâmetros.

✓ **Impedância de entrada (Z_i)**

- *A presença do resistor r_0 "complica" a determinação da impedância de entrada* $\boldsymbol{Z_i}$ *. É fácil de verificar que* ***se r_0 fosse suprimido (i_{02}=0)*** *a impedância* $\boldsymbol{Z_b}$ *seria igual à:*

Da malha base emissor, temos

$v_i = br_e i_b + R_E(i_{01} + i_{01}/b) = br_e i_b + R_E(1+b)i_b$ *logo,*

$$\boldsymbol{Z_b} = v_i / i_b = br_e + (b+1)R_E \qquad (27)$$

- *Apenas para aprimorar a nossa capacidade de análise,* ***se Rc estivesse em curto com o terra****, a impedância* $\boldsymbol{Z_b}$ *seria igual à:*

$$\boldsymbol{Z_b} = br_e + (b+1)R'_E \qquad (28)$$

Onde $R'_E = R_E // r_0$

Para facilitar a dedução da impedância Z_b*, incluindo a presença da resistência de saída do transistor,* r_0 *, é importante para simplificação e com esta nova "cara" do modelo p híbrido evitar não introduzir desnecessariamente variáveis independentes.*

Da malha coletor emissor, temos

$$R_C(i_{01} - i_{02}) - r_0 i_{02} + R_E(i_{01} - i_{02} + i_{01}/b) = 0$$

$$R_C\, i_{01} + R_E(i_{01} + i_{01}/b) = R_C\, i_{02} + R_E\, i_{02} + r_0\, i_{02}$$

$$i_{02} = i_{01} * [R_C + R_E(1 + 1/b)] / (R_C + R_E + r_0)$$

$$i_{02} = i_{01} * [R_C + R_E(1 + 1/b)] / R_T \qquad (29)$$

onde $R_T = R_C + R_E + r_0$

Da malha base emissor, temos

$$v_i = r_e i_{01} + R_E[(1+1/b)\, i_{01} - i_{02}] \qquad (30)$$

Substituindo (29) em (30), resulta

$$v_i = r_e i_{01} + R_E\{(1+1/b) - [R_C + R_E(1 + 1/b)]/R_T\}\, i_{01}$$

$$v_i = r_e i_{01} + R_E\{[r_0(1 + 1/b) + R_C/b]/R_T\}\, i_{01}$$

Como $i_{01} = b i_b$ *, então*

$$v_i = b r_e i_b + R_E\{[r_0(b+1) + R_C]/R_T\}\, i_b$$

Logo,

$$\boldsymbol{Z}_b = b r_e + (b+1) R_E\{[r_0 + R_C/(b+1)]/R_T\} \qquad (31)$$

Note que se r_0 *é infinito a equação (31) torna igual à equação (27). E se Rc for muito menor que* r_0 *a equação (31) é bem aproximada pela equação (28).*

Na prática sempre $r_0 >> R_C/(b+1)$*, e* $b+1 \gg b$ *de maneira que a equação (31) pode ser muito bem aproximada por*

$$\boxed{\boldsymbol{Z}_b \gg b r_e + b R_E r_0/R_T} \qquad \text{e} \qquad (32)$$

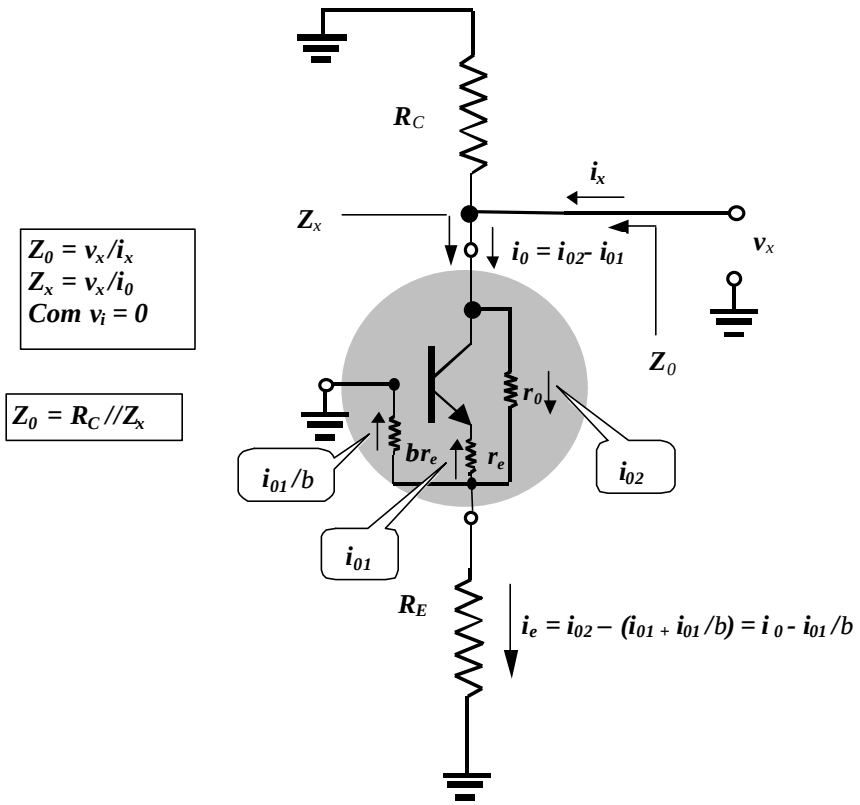
$$\boxed{\boldsymbol{Z}_i = R_B // Z_b}$$

✓ **Impedância de saída (**$\boldsymbol{Z}_0$**)**

- *Novamente, apenas para aprimorar a nossa capacidade de análise,* ***se*** $\boldsymbol{R_E}$ ***estivesse em curto com o terra****, a impedância* $\boldsymbol{Z}_0$ *seria igual à:*

$$\boldsymbol{Z}_0 = R_C // r_0$$

Aqui é importante redesenharmos a porção de saída do circuito com a entrada aterrada.



Da malha base emissor, temos

$-r_e\, i_{01} + R_E(i_{02} - i_{01} - i_{01}/b) = 0$ Þ

$i_{01} = R_E / [R_E(1+1/b)+r_e]\, i_{02}$ (33)

ou seja, a corrente i_{02} *é dividida pelo divisor resistivo -* r_e *e Re//b* r_e

Temos ainda,

$i_0 = i_{02} - i_{01} = i_{02} - R_E / [R_E(1+1/b)+r_e]\, i_{02}$

$\mathbf{i_{02} = [(b+1)R_E + br_e] / (R_E + br_e)^* i_0}$ *e* (34)

substituindo (34) em (33) resulta,

$\mathbf{i_{01} = b R_E / (R_E + br_e)^* i_0}$ (35)

Da malha coletor emissor, temos

$$v_x = r_0 i_{02} + r_E i_{01} \qquad (36)$$

substituindo (34) e (35) em (36) resulta,

$$v_x = \{r_0\,[(b+1)R_E+br_e] / (R_E+br_e) + br_eR_E / (R_E+br_e)\}\, i_0$$

$$v_x/i_0 = \{r_0\,[(b+1)R_E+br_e] + br_eR_E\}/(R_E+br_e) \quad ou$$

$$v_x/i_0 = r_0 + b(r_0 + r_e)\,R_E/(R_E+br_e)$$

ou, como sempre $r_0 >> r_e$

$$\boxed{Z_x \;\text{»}\; r_0\,[1+ b\;R_E/(R_E+br_e)]} \qquad (36)$$

e

$$\boxed{Z_0 = R_c \,//\, Z_x} \qquad (37)$$

Se $R_E = 0$*, a impedância* Z_x *é igual a impedância de saída do transistor* (r_0)*. Por outro lado se* $R_E >> br_e$*,a impedância* Z_x *aumentaria por*

$$\boxed{Z_x \;\text{»}\; r_0\,(1+ b)} \qquad (38)$$

✓ **Ganho de tensão (*A_v*)**

Da figura temos:

$$v_0 = -R_C\,(i_{01} - i_{02}) \qquad (39)$$

e $\quad v_i = Z_b\, i_b = Z_b\, i_{01}/b \qquad$ *logo*

$$i_{01} = b\, v_i / Z_b \qquad (40)$$

A corrente i_{02} está relacionada com i_{01} como dado pela equação (29), e repetida abaixo

$$i_{02} = i_{01} * [R_C + R_E(1 + 1/b)] / R_T \qquad (41)$$

Substituindo (41) em (39) resulta,

$$v_0 = -R_C \{1 - [R_C + R_E(1 + 1/b)\} / R_T \, i_{01} \qquad (42)$$

Substituindo (40) em (42) resulta,

$$v_0 / v_i = A_v = - b R_C \{r_0 - R_E/b\} / (Z_b \, R_T)$$

Na prática sempre $r_0 >> R_E/b$, assim

$$A_v \approx - b R_C \, r_0 / (Z_b \, R_T)$$

Substituindo Z_b (equação (32)) resulta,

$$\boxed{A_v \approx - R_C / (r_e \, R_T/r_0 + R_E)} \qquad (43)$$

Note que se $R_E = 0$ então, $A_v \approx - R_C \, r_0/r_e \, (R_C + r_0) = -Rc//r_0 / r_e$.

Se $r_0 >> (R_C + R_E)$ então,

$$A_v \approx - R_C / (r_e \, r_0/r_0 + R_E) = \mathbf{-R_C / (r_e + R_E)} \qquad (44)$$

✓ **Ganho de corrente (A_i)**

Usando a igualdade

$\mathbf{i_0 / i_i} = A_i = -A_v Z_i / R_C$ *então de (43)*

$$A_i \approx R_B // Z_b / (r_e \, R_T/r_0 + R_E) \qquad (45)$$

Substituindo a equação (32) resulta,

A_i » $R_B//(br_e + bR_E\, r_0 /R_T\ )/(r_e\ R_T /r_0\ + R_E)$

Resolvendo

$$A_i \ » \ bR_B/[R_T/r_0(R_B+br_e)+ bR_E] \qquad (46)$$

Note que se R_T » r_0 *então,*

A_i » $bR_B/[R_B+br_e+ bR_E]$

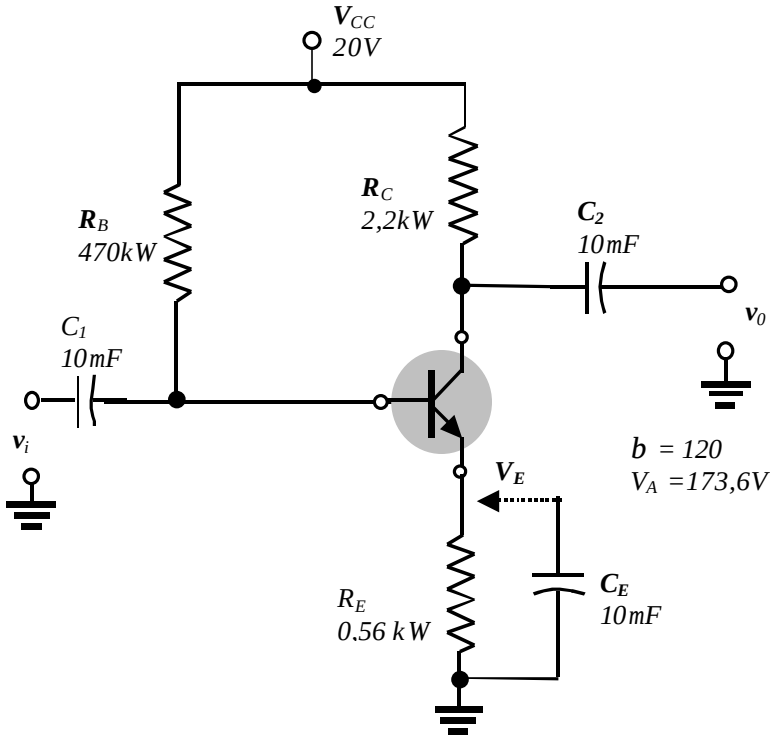
Ou seja, o ganho de entrada é reduzido somente ao devido ao divisor resistivo R_B $,br_e+ bR_E$.

Exercício (sem C_E)

Para o circuito da figura abaixo determine:

a) Determine Z_i e Z_0.

b) Determine A_v e A_i



- **Solução**

1) Análise DC

$I_B = (V_{CC} - V_{BE})/(R_B + (b+1)R_E) = (20V-0,7V)/(470kW + 121*0,56kW)$

$= \mathbf{35,9mA}$

$I_C \approx I_E = (b+1)\, I_B \approx$ **4,34mA**

$r_e = V_T/I_C = 26mV/4,34mA \approx$ **6W**

$r_0 = V_A/I_C = 70V/4,34mA =$ **40kW**

Note que a condição $r_0 = 40kW >> R_C + R_E = 2,76kW$ é verdadeira.Logo, $R_T \approx r_0$

2) Análise AC

a) $\mathbf{Z}_b \approx b r_e + b R_E r_0 / R_T \approx b(r_e + R_E) = 120(6 + 560W) =$ ***67,9kW***
$Z_i = Z_b // R_B = 67{,}92kW // 470kW =$ ***59,3kW***

se $\mathbf{Z}_b$ *não fosse aproximada* ($Z_b = 63{,}6kW$) *então,*

$Z_i =$ ***56,0 kW***

b) Como $r_0 >> R_C$

$Z_0 \approx R_C = 2{,}2$***kW***

Solução não aproximada

$Z_x \approx r_0 [1 + b R_E/(R_E + b r_e)] = 40kW[1 + 120*560W/(560W + 120*6W)]$

$= 40kW[1 + 120*560W/1280W] =$ ***2,14MW***

$Z_0 = R_C // Z_x = 2{,}2kW // 2{,}14MW =$ ***2,197kW***

c) $A_v \approx - R_C/(r_e R_T/r_0 + R_E)$ *como* $r_0 >> R_C + R_E$

$A_v \approx - R_C/(r_e + R_E) = -2200W/(6W + 560W) =$ ***-3,887***

Solução não aproximada

$A_v = - R_C/(r_e R_T/r_0 + R_E) = - 2200W/(6W*42{,}57kW/40kW + 560W)$

$\approx -2200/(6{,}385W + 560W) \approx$ ***-3,884***

d) $A_i = -A_v Z_i/R_C = 3{,}88*59{,}3kW/2{,}2kW \approx$ ***104,6*** $(< b)$

Utilizando a aproximação

$A_i \approx b R_B/(R_B + b r_e + b R_E) = 120*470kW/(470kW + 0{,}72kW + 67{,}2kW)$

$= 120*470kW/537{,}92kW =$ ***104,8***

Solução não aproximada

$A_i \approx b R_B/[R_T/r_0(R_B + b r_e) + b R_E]$

*= 120*470kW/[42,57kW/40kW(470kW+0,72kW)+120*0,56kW)*

*=**99,3***

Exercício (com C_E)

Com o circuito anterior com o resistor de emissor desaclopado:
c) Determine Z_i e Z_0.
d) Determine A_v e A_i

1) Análise dc

Continua a mesma.

3) Análise ac

a) $Z_B = \beta r_e = 120*6W = 720W$

$Z_i = R_B // Z_B = 470kW // 720W$ » ***717W*** *(diminui bastante)*

b) $Z_0 = r_0 // R_C = 40kW // 2,2kW$ » ***2,08kW*** *(praticamente inalterada)*

c) $A_v = -Z_0/r_e = 2080W/6W$ » ***346,6*** *(aumentou bastante)*

d) $A_i = \beta R_B/(R_B + \beta r_e) = 120*470kW/(470kW + 120*6W)$

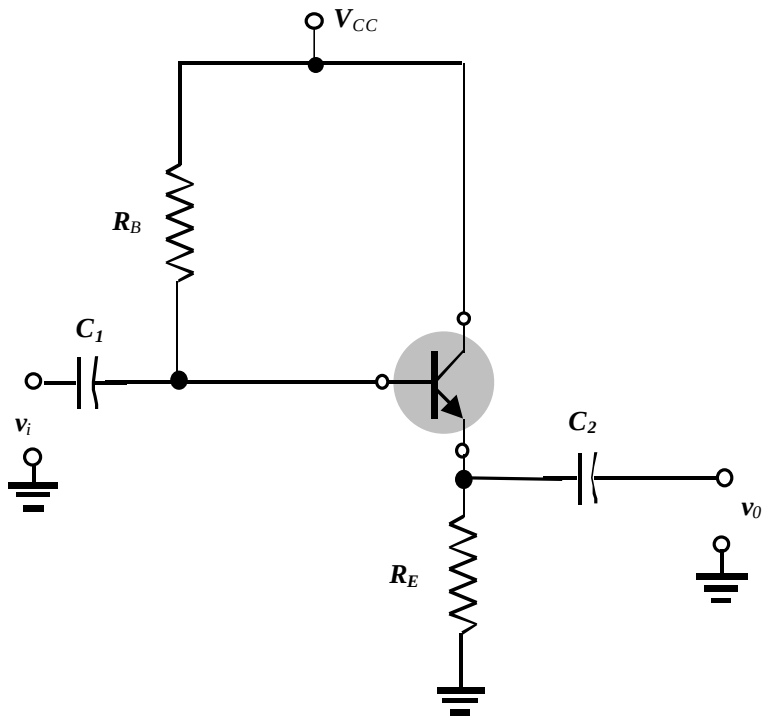
$= 120*470kW/470,72kW = 120* 0,998$ =» ***119,8*** » β *(praticamente inalterado)*

Conclusão:

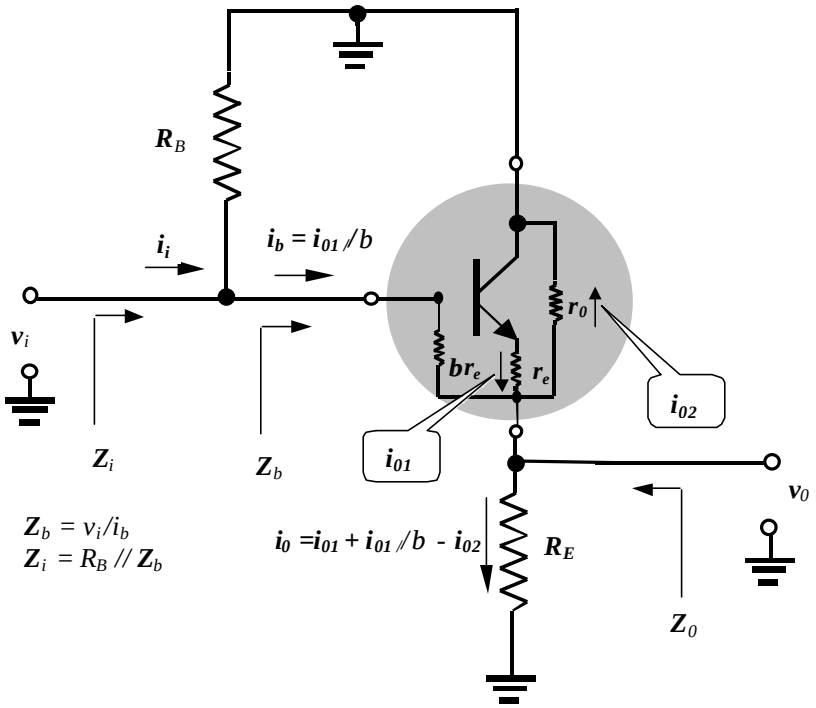
O capacitor de desaclopamento C_E produz o efeito de:

1) *Aumentar o ganho na razão aproximada de $(R_E + r_e)/r_e$;*
2) *Diminuir a impedância de entrada na mesma razão;*
3) *Praticamente não influencia no ganho de corrente;*
4) *Praticamente não influencia na impedância de saída.*

- **Configuração seguidor de emissor (Coletor Comum)**



Na Banda de interesse, XC_1, XC_2 estão em curto e para análise incremental (AC) toda fonte de tensão constante está em curto com o terminal comum.

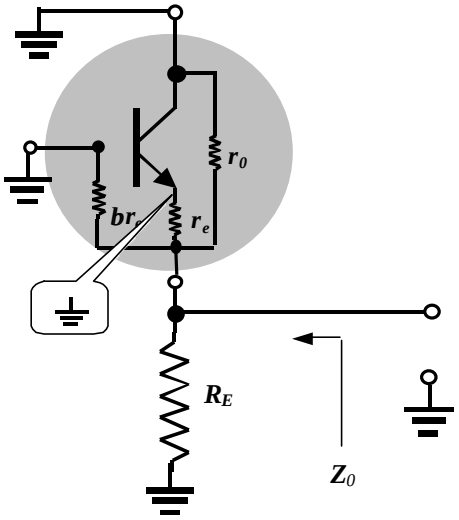


Da figura vemos que r_0 está em paralelo com R_E de maneira que chamando de $R'_E = R_E // r_0$ vem,

$$Z_B = \beta r_e + (\beta+1)R'_E \quad e$$

$$Z_i = R_B // Z_B \qquad (47)$$

Para a determinação de Z_0, vamos redesenhar a porção de saída do circuito.



Da figura acima vemos por inspeção que,

$$Z_0 = R'_E // \beta r_e // r_e \;\; » \;\; // \alpha r_e » R'_E // re \qquad (48)$$

Para a determinação do ganho de tensão, basta observar que a saída v_0 é obtida através do divisor resistivo $\beta r_e // r_e$ e R'_E. Logo,

$$A_v = R'_E / (\beta r_e // r_e + R'_E) » R'_E / (r_e + R'_E) \qquad (49)$$

O ganho de corrente (i_0/i_i) é facilmente determinado observando que a corrente de entrada, i_i é dividida pelo divisor resistivo R_B e Z_B, e a corrente $i_{01}(1+1/\beta)$ é dividida pelo divisor resistivo R_E e r_0, de maneira que

$$i_b = i_{01}/\beta = R_B / (R_B + Z_B) i_i \quad Þ$$

$i_{01} = bR_B /(R_B + Z_B) i_i$ *e* (50)

$i_0 = r_0 /(R_E + r_0) (1+1/b) i_{01}$ (51)

Substituindo (50) em (51) resulta,

$A_i = i_0 / i_{01} = r_0 b R_B /[(R_E + r_0) (1+1/b)(R_B + Z_B)]$

$$\boxed{A_i \gg b /[(R_E/r_0+1)(1 + Z_B/R_B)]} \quad (52)$$

Ou a forma indireta

$A_i = A_v Z_i/R_E$

Note que em (52) se $R_E/r_0 << 1$ *e* $Z_B/R_B >>1$*, o ganho de corrente é igual a* b.

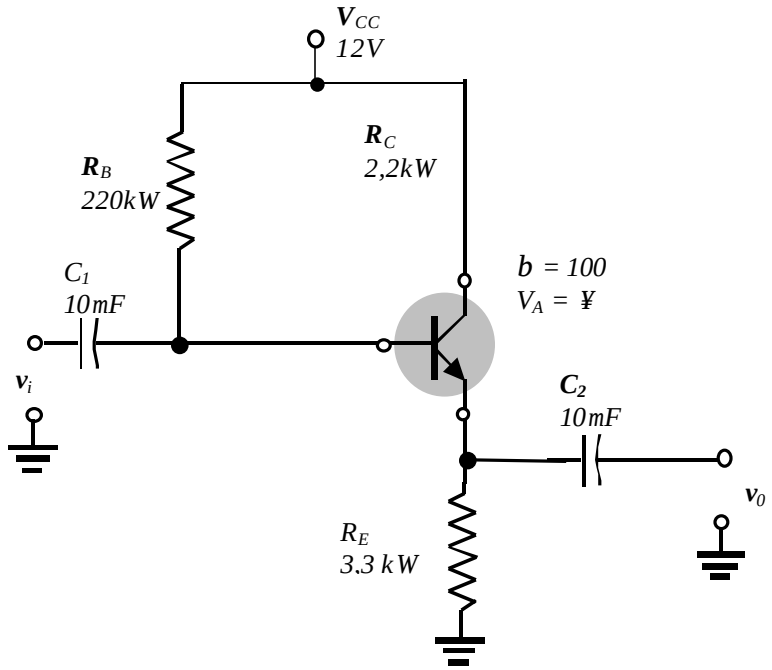
Obs: Note agora a ausencia do sinal -.

Exercício

Para o circuito da figura abaixo determine:

a) Determine Z_i e Z_0.

b) Determine A_v e A_i



- **Solução**

1) Análise DC

$I_B = (V_{CC} - V_{BE})/(R_B + (b+1)R_E) = (12V\text{-}0{,}7V)/(220kW + 101*3{,}3kW)$

$= \mathbf{20{,}4mA}$

I_C » $I_E = (b+1)\, I_B$ » **2,06mA**

$r_e = V_T/I_C = 26mV/2{,}06mA$ » **12,6W**

$r_0 = ¥ / I_C = ¥$ **kW**

Note que a condição r_0 >> R_C é satisfeita

2) Análise AC

a) $\mathbf{Z}_b = br_e + (b+1)R'_E$ » $b(r_e + R_E) = 100(12{,}6W + 3{,}3kW) =$ ***331,6kW*** » bR_E

$Z_i = Z_b // R_B = 220k // 331{,}6kW =$ ***132,2kW***

Note que a condição $Z_b >> R_B$ não é satisfeita

b) $Z_0 = R_E // br_e // r_e$ » $// ar_e$ » $R_E // re = 3{,}3kW // 12{,}6$ » ***12,5W*** » re

c) A_v » $- R_E / (r_e + R_E) = 3{,}3kW // (3{,}3kW + 12{,}6) =$ ***0,996*** » 1

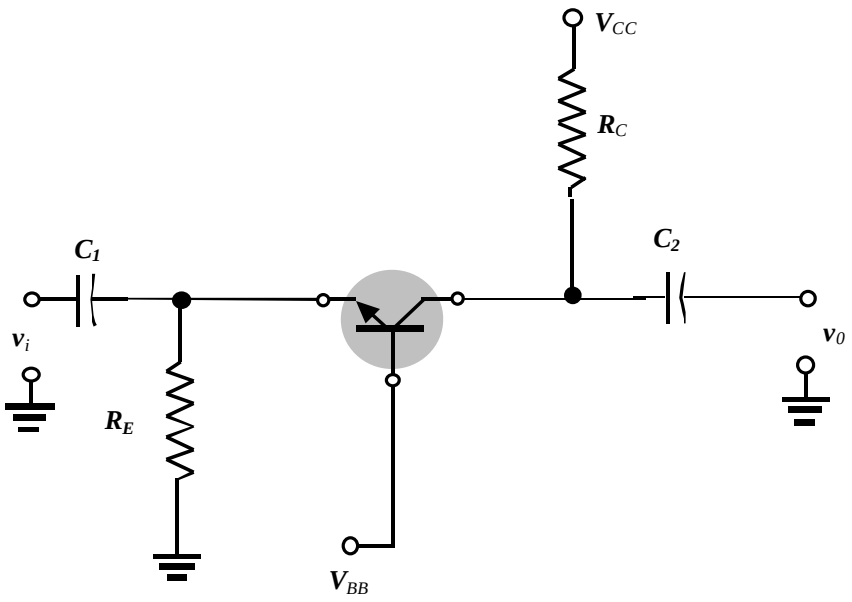
d) $A_i = A_v Z_i / R_E = 0{,}996 * 132{,}2kW / 2{,}2kW$ » ***39,85*** (<b)

Ou utilizando a equação (52)

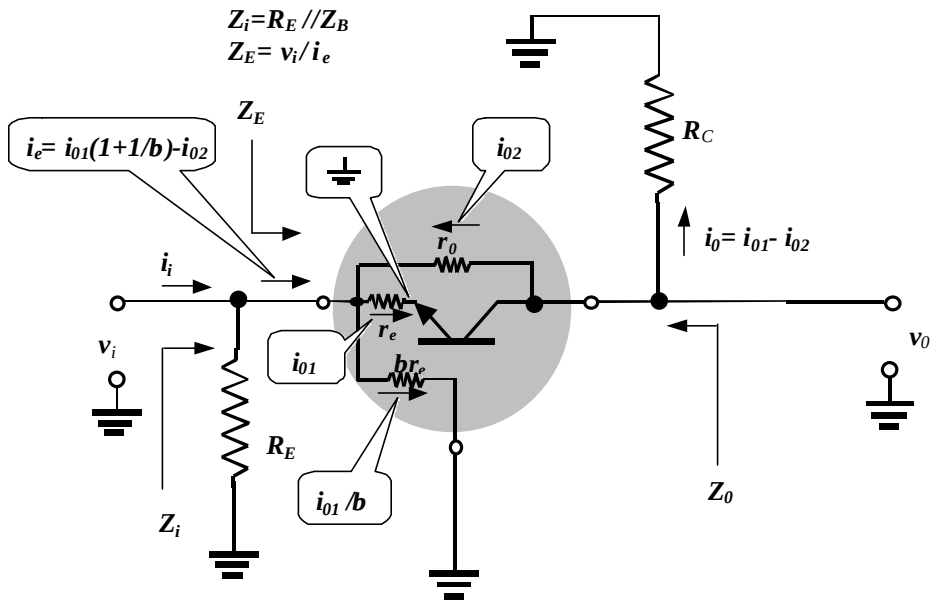
A_i » $b / [(R_E/r_0 + 1)(1 + Z_B/R_B)] = bR_B / [(R_B + Z_B)]$

$= 100 * 220kW / [220kW + 331{,}6kW$ » ***39,88***

- **Configuração Base Comum**



Na Banda de interesse, XC_1, XC_2 estão em curto e para análise incremental (AC) toda fonte de tensão constante está em curto com o terminal comum.



Da figura vemos que Z_i *é dado por*

$$Z_i = R_E // Z_E$$

Então o que resta é determinar Z_E*. Para isto vamos determinar a relação entre* i_{01} *e* i_{02}*. Da nó do coletor temos*

$$R_C(i_{01}-i_{02}) = r_0 i_{02}+r_e i_{01} \quad \text{logo}$$

$$i_{02} = (R_C - r_e)/(r_0+R_C)i_{01} \qquad e \qquad (53)$$

$$i_{01} = v_i /r_e \qquad (54)$$

Temos ainda

$$i_e= v_i/Z_E = i_{01}(1+1/b)-i_{02} \gg i_{01} - i_{02} \qquad (55)$$

Substituindo (53) e (54) em (55) resulta,

$$i_e \gg i_{01} - i_{02} = [1- (R_C - r_e)/(r_0+R_C)]\ v_i /r_e$$

$$i_e = \{[r_0 +R_C -R_C +r_e]/(r_0+R_C)\}v_i /r_e$$

$$i_e = [(r_0 - r_e)/(r_0+R_C)]\ v_i /r_e \gg r_0 /r_e(r_0+R_C)\ v_i \qquad (56)$$

então

$$\boxed{Z_E = (r_0+R_C)/r_0 .r_e} \qquad (57)$$

Se $r_0 >> R_C$

$Z_E \gg r_e$ (**impedância de entrada muito baixa**)

A impedância de saída é facilmente determinada. Da figura acima, com a entrada aterrada, vemos por inspeção que,

$$\boxed{Z_0 = R_C //r_0} \qquad (58)$$

Para a determinação do ganho de tensão, basta observar que a saída v_0 é obtida através da expressão,

$$v_0 = R_C\,(i_{01} - i_{02}) \qquad (59)$$

Como i_e » $(i_{01} - i_{02})$ *então usando (56) resulta*

$$v_0 \;\text{»}\; R_C\, i_e = Rc\, r_0/(r_0+R_C)\; v_i\,/\; r_e \text{ então}$$

$$\boxed{A_v = R_C r_0/(r_0+R_C)/\, r_e = Rc\,//\, r_0\,/r_e = Z_0/r_e} \qquad (60)$$

A determinação do ganho de corrente (i_0/i_i) *é facilmente determinado observando que a corrente de entrada,* i_i *é dividida pelo divisor resistivo* R_E *e* Z_E*, , de maneira que* i_e *é dada por*

$$i_e = i_0 + i_{01}/b = R_E/(R_E + Z_E)i_i = i_0 + i_{01}/b \qquad (61)$$

temos ainda,

$$i_0 = i_{01} - i_{02} \qquad (62)$$

Substituindo (53) em (62) resulta,

$$i_0 = (1 - (R_C - r_e)/(r_0+R_C)).i_{01} = (r_0+r_e)/(r_0+R_C).i_{01} \quad \text{logo}$$

$$i_{01} = (r_0+R_C)/(r_0+r_e)\,.i_0 \qquad (63)$$

Substituindo (63) em (61) resulta,

$$R_E/(R_E + Z_E)i_i = (1+1/b.\,(r_0+R_C)/(r_0+r_e)\,.i_0 \quad \text{logo}$$

$$A_i = [R_E/(R_E + Z_E)]/[\,(1+1/b.(r_0+R_C)/(r_0+r_e)] \qquad (64)$$

Que é bastante confusa.

Se $R_E >> Z_E$ *e* $r_0 >> R_C$ $(r_0 >> r_e)$ *então,*

$$A_i \;\text{»}\; (1/(1+1/b) = b/(b+1) = a \;\; (\text{»}\; 1)$$

Que é o ganho de corrente (i_c/i_e) ***do transistor.***

A equação (64) pode ser aproximada por:

A_i » $[R_E/(R_E + Z_E)]/[(1+1/b.(r_0+R_C)/r_0]$

$= R_E/(R_E + Z_E)]/[(1+1/b.(1+R_C/r_0)]$ *(na prática* $(1+R_C/r_0)/b << 1$*) assim*

$$\boxed{A_i \text{ » } R_E/(R_E + Z_E)} \qquad (65)$$

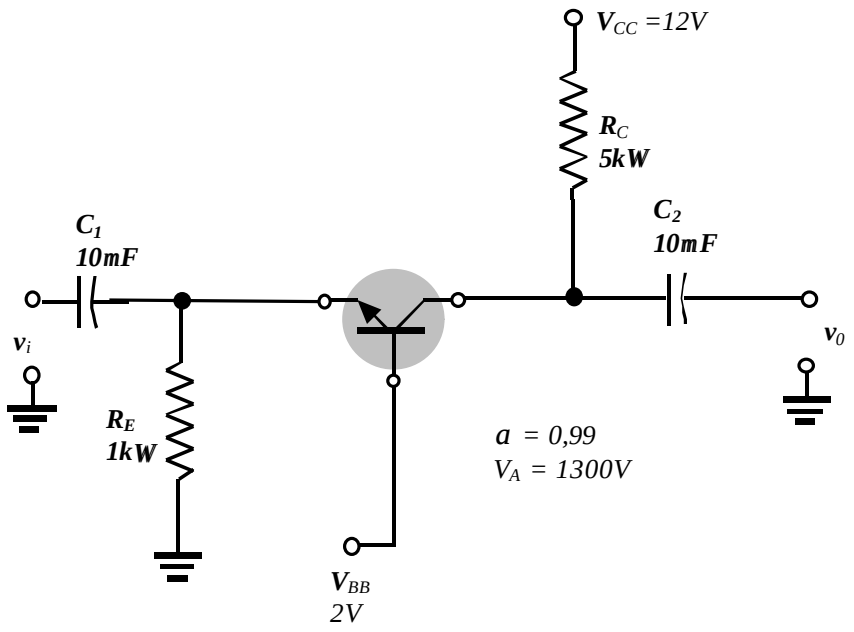
A equação (65) mostra que o ganho de corrente é reduzido de seu valor máximo (alfa »1) pelo divisor resistivo R_E *e* Z_E*.*

A outra forma de obter A_i *,seria*

$A_i = A_v Z_i/R_C$

Exercício

Para o circuito da figura abaixo determine:
c) Determine Z_i e Z_0.
d) Determine A_v e A_i



- **Solução**

1) Análise DC

$I_C = I_E = (V_{BB} - V_{BE})/R_E = (2V-0,7V)/1kW =$ ***1,3mA***

$r_e = V_T/I_C = 26mV/1,3mA =$ ***20 W***

$r_0 = 1300V/I_C =$ ***1 MW***

Note que a condição $r_0 >> R_C$ é satisfeita

2) Análise AC

a) $Z_E = (r_0+R_C)/r_0 .r_e$ » r_e =20W

$Z_i = Z_E//R_E$ =1k //20W = ***19,6W*** » r_e

b) $Z_0 = R_C // r_0 \gg R_C =$ ***5kW***

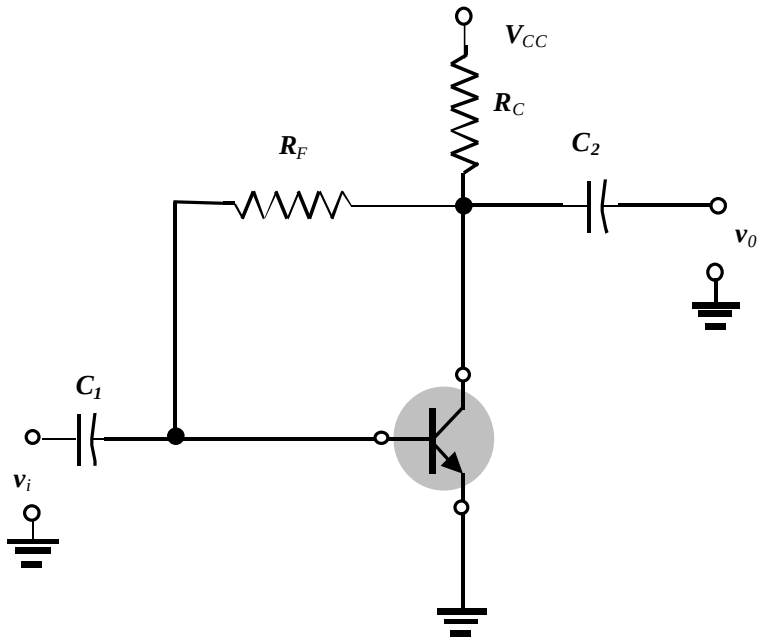
c) $A_v = Z_0 / r_e \gg R_C / r_e = 5kW / 20W =$ ***250***

d) $A_i \gg R_E / (R_E + Z_E) = 1kW / (1kW + 20W) \gg$ ***0,98***

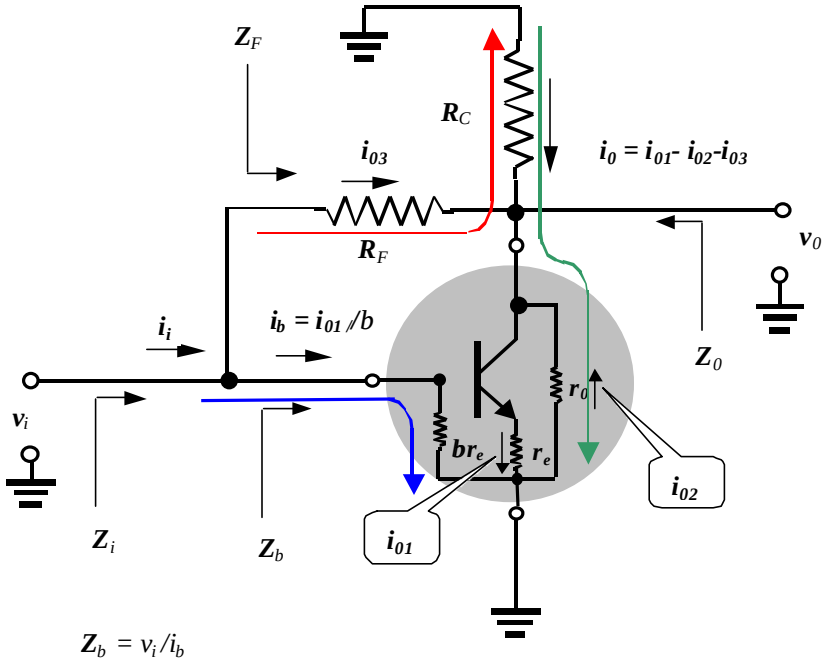
Ou utilizando a equação

$A_i = A_v Z_i / R_C = 250 * 19{,}6 / 5kW =$ ***0,98***

- **Configuração Emissor Comum realimentação no coletor**



Na Banda de interesse, XC_1 e XC_2 estão em curto e para análise incremental (AC) toda fonte de tensão constante está em curto com o terminal comum.



$Z_b = v_i / i_b$
$Z_F = v_i / i_{03}$
$Z_i = Z_F \,//\, Z_b$

Determinação dos parâmetros.

✓ **Impedância de entrada (Z_i)**

- *A presença do resistor R_F "complica" a determinação da impedância de entrada* $\boldsymbol{Z_i}$ *. Mas é fácil verificar que as três malhas (vermelho, azul e verde) são suficiente para gerar três equações com quarto incógnitas (v_i,i_{01},i_{02} e i_{03}) e determinar Z_F (v_i /i_{03}) e por conseguinte.Portanto,*

Da malha base coletor (vermelho), temos

$$v_i = R_F i_{03} - R_C(i_{01} - i_{02} - i_{03})$$

$$\boldsymbol{v_i = (R_F + R_C)\, i_{03} - R_C(i_{01} - i_{02})} \qquad (66)$$

Da malha base emissor (azul), temos

$$v_i = r_e i_{01} \;\; \text{Þ} \;\; \boldsymbol{i_{01} = v_i / r_e} \qquad (67)$$

Da malha coletor emissor (verde), temos

$$R_C(i_{01} - i_{02} - i_{03}) = r_0 i_{02}$$

$$\text{Þ} \;\; \boldsymbol{i_{02} = R_C(i_{01} - i_{03})/(r_0 + R_C)} \qquad (68)$$

Substituindo (67) e (68) em (66) resulta,

$$v_i = (R_F + R_C)\, i_{03} - R_C[v_i / r_e - R_C(v_i / r_e - i_{03})/(r_0 + R_C)]$$

$$v_i = (R_F + R_C)\, i_{03} - R_C[1 - R_C/(r_0 + R_C)]v_i / r_e - R_C\, R_C/(r_0 + R_C)\, i_{03}$$

$$v_i = R_F\, i_{03} - R_C\, r_0/(r_0 + R_C)]v_i / r_e + R_C\, [1 - R_C/(r_0 + R_C)]\, i_{03}$$

$$[(1 + R_C\, r_0/(r_0 + R_C)/r_e]v_i = R_F\, i_{03} + R_C\, r_0/(r_0 + R_C)\, i_{03} \quad \textit{logo}$$

$$Z_F = v_i / i_{03} = \{R_F + R_C\, r_0/(r_0 + R_C)\}/ [(1 + R_C\, r_0/(r_0 + R_C)/r_e]$$

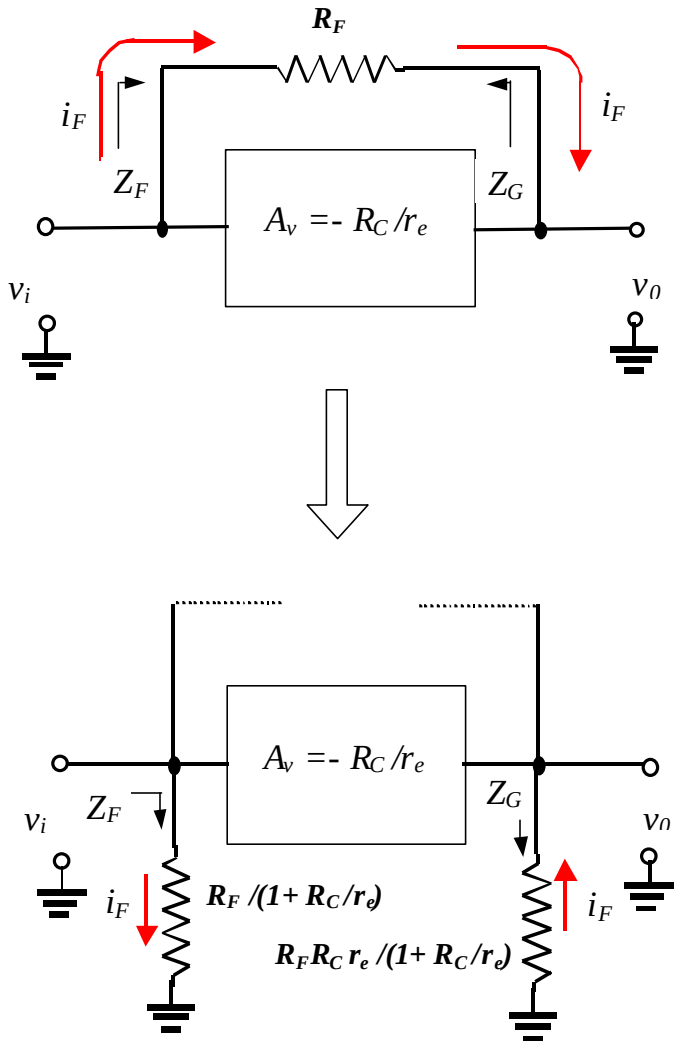
$$\boxed{Z_F = \{R_F + R_C // r_0\}/ [(1 + R_C // r_0 / r_e]\}} \quad e \qquad (69)$$

$$Z_i = Z_F // Z_B = Z_F // \beta r_e$$

Se $r_0 >> R_C$ *e* $R_F >> R_C$ *então0*

$$\boldsymbol{Z_F \;\text{»}\; R_F/(1 + R_C/r_e)} \qquad (70)$$

- *É interessante observar a equação (70) e perceber que se o ganho de tensão for aproximado por* $-R_C/r_e$*, a impedância* Z_F *é igual a resistência* R_F *dividida pelo fator* $(1 + R_C/r_e)$ *devido ao efeito Miller, como ilustrado abaixo.*



Efeito Miller

$Z_F = v_i/i_F$ *e* $v_0 = -R_C/r_e\, v_i$

Da malha entrada saída temos,

$v_i = R_F\, i_F + v_0 = R_F\, i_F - R_C/r_e\, v_i$

$v_i(1 + R_C/r_e) = R_F\, i_F$ *logo*

$\boldsymbol{Z_F = R_F/(1 + R_C/r_e)}$

Por outro lado,

$v_0 = v_i - R_F\, i_F$

$= [R_F/(1 + R_C/r_e) - R_F]\, i_F$

$= R_F R_C r_e/(1 + R_C/r_e)(-i_F)$ *como*

$Z_G = v_0/(-i_F)$ *então*

$\boldsymbol{Z_G = R_F R_C r_e/(1 + R_C/r_e)}$

De uma forma geral

$\boldsymbol{Z_F = R_F\,(1 - A_v)}$
e
$\boldsymbol{Z_G = R_F\, A_v/(1 - A_v)}$

A impedância de saída Z_0 , por inspeção é dada por:

$$Z_0 = R_F // R_C // r_0 \qquad (71)$$

O ganho de tensão agora é determinado. Da figura temos,

$$v_0 = -R_C i_0 = -R_C(i_{01} - i_{02} - i_{03}) \qquad (72)$$

Da malha base emissor (azul) temos, (repetindo)

$$v_i = r_e i_{01} \quad \text{Þ} \quad \mathbf{i_{01} = v_i / r_e} \qquad (73)$$

Da malha base coletor (vermelho) temos, (repetindo)

$$v_i = R_F i_{03} - v_0 \quad \text{Þ} \quad \mathbf{i_{03} = (v_i + v_0)/ R_F} \qquad (74)$$

e repetindo a equação (68)

$$\mathbf{i_{02} = R_C (i_{01} - i_{03})/(r_0 + R_C)} \qquad (75)$$

Substituindo (75), (74), (73) em (72) resulta,

$$A_v = v_0 / v_i = -R_C // r_0 \, [1/r_e + 1/R_F]/[1 + R_C // r_0 / R_F]$$

Como na prática sempre $R_F >> r_e$

$$A_v » v_0 / v_i = -R_C // r_0 / r_e / [1 + R_C // r_0 / R_F] \qquad (76)$$

O ganho de corrente agora é determinado utilizando a expressão,

$$A_i = -A_v Z_i / R_C \qquad (77)$$

Substituindo as expressões de A_v (equação (76)) e de Z_i resulta,

$$A_i » b / (1 + R_C / r_0 + b \, R_C / R_F) \qquad (78)$$

Na expressão (78) usamos a aproximação sempre satisfeita na prática $R_C // r_0 >> r_e$.

Note que se $bR_C >> R_F$ então,

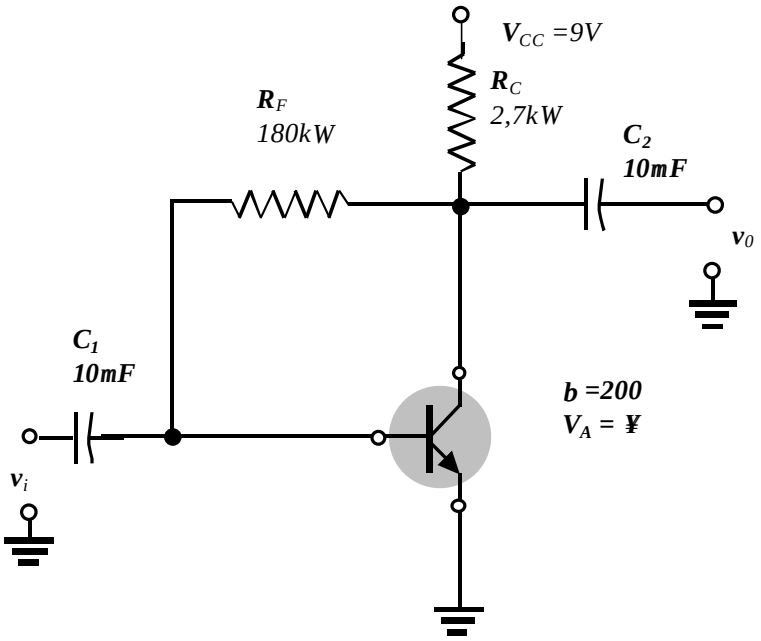
$$\mathbf{A_i » R_F / R_C}$$

Exercício

Para o circuito da figura abaixo determine:

e) Determine Z_i e Z_0.

f) Determine A_v e A_i



- **Solução**

1) Análise DC

$I_B = I_E = (V_{CC} - V_{BE})/(R_F + (b+1)R_E) = (9V-0,7V)/(180kW + 201*2,7kW) \approx$ **11,5mA**

$I_C = b\ I_B = 200*11,5mA$ = **2,3mA**

$r_e = V_T/I_C = 26mV/2,3mA$ = **11,2W**

$r_0 = ¥V/I_C = ¥$

2) Análise AC

a) $Z_F = \{R_F + R_C // r_0\} / [(1 + R_C // r_0 / r_e]\} = \{R_F + R_C\} / [(1 + R_C // r_e]\}$

$= (R_F + R_C)/(1 + R_C / r_e) = (180kW + 2,7kW)/(1 + 2,7kW / 11,2W) » 0,75kW$

$Z_i = Z_F // br_e = 0,75kW//(200*11,2W) = 0,75kW//2,24kW$ » ***562W***

b) $Z_0 = Z_0 = R_F // R_C // r_0 = R_F // R_C = 2,7kW // 180kW$ » *2,66kW*

c) $A_v = -R_C // r_0 / r_e / [1 + R_C // r_0 / R_F] = -R_C / r_e / [1 + R_C / R_F]$ » $-R_C / r_e$

$= -2,7kW / 11,2W)$ » ***-241***

d) $A_i = b / (1 + R_C / r_0 + b\ R_C / R_F) = b\ R_F / (R_F + b\ R_C / R_F)$

$= 200*180kW / (180kW + 200*2,7kW / 180kW) =$ ***50***